

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

| | | | |
|---|----------------------------------|--------------------------|--------------|
| (51) Int. Cl. ⁶ H03K 7/08 | | (45) 공고일자 1999년03월20일 | |
| | | (11) 등록번호 특0168807 | |
| | | (24) 등록일자 1998년10월07일 | |
| (21) 출원번호 | 특1996-011045 | (65) 공개번호 | 특1997-072672 |
| (22) 출원일자 | 1996년04월12일 | (43) 공개일자 | 1997년11월07일 |
| (73) 특허권자 | 삼성전자주식회사 김광호 | | |
| (72) 발명자 | 경기도 수원시 팔달구 매탄동 416번지 유준혁 | | |
| (74) 대리인 | 경기도 수원시 팔달구 매탄3동 416 허성원, 이수완 | | |

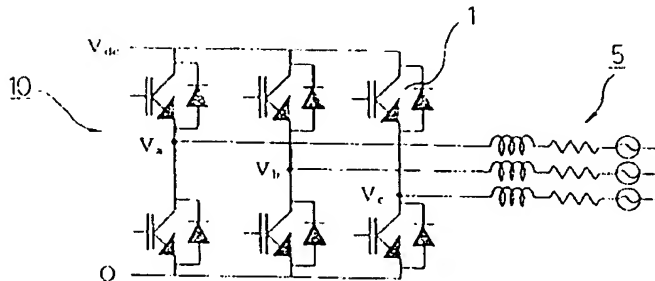
심사관 : 김재욱

(54) 공간전압벡터 방식에 의한 펄스폭변조 방법

요약

본 발명은 공간전압벡터 방식에 의한 펄스폭변조 방법에 관한 것으로서, 3상 인버터로부터의 출력전압의 상태를 각 상의 상태에 따라 벡터공간상에 배열한 8개의 전압벡터를 구성하는 단계와; 3상의 입력단을 갖는 외부회로의 각 상에 인가되는 3상의 기준전압을 전압벡터로부터 산출하는 단계와; 외부회로에 인가할 목표가 되는 실제의 기준전압벡터를 합성하기 위해 각 기준전압이 외부회로의 대응되는 각 상에 인가되어야 하는 각 가상스위칭 시간을 산출하는 단계와; 각 가상스위칭 시간간의 차를, 각 전압벡터를 외부회로에 인가하는 스위칭시간으로 취하는 단계를 포함한다. 이에 의해, 종래의 공간전압벡터 방식에 의한 변조의 우수한 성능을 그대로 유지시키면서도, 간단하게 구현할 수 있는 펄스폭변조 방법이 제공된다.

대표도



영세서

[발명의 명칭]

공간전압벡터 방식에 의한 펄스폭변조 방법

[도면의 간단한 설명]

- 제1도는 3상 인버터를 나타낸 회로도.
제2도는 3상 인버터가 나타내는 8가지 스위칭 상태를 개략적으로 나타낸 스위칭 상태도.
제3도는 제2도의 전압 상태를 벡터공간상의 전압벡터로 도시한 다이어그램.
제4도는 종래의 SVM에 따른 실제의 게이팅 신호의 반주기 대칭 상태 패턴을 도시한 다이어그램.
제5도는 본 발명에 따른 SVM의 스위칭 패턴 생성 개념도.
제6도는 제5도의 스위칭 패턴을 반주기 대칭 상태 패턴으로 도시한 다이어그램.
제7도는 여러 가지 PWM 방법에 의해 구현된 실제의 스위칭 패턴을 도시한 다이어그램으로서,
a)도는 본 발명의 펄스폭변조 방법에 따른 스위칭패턴.
b)도는 종래의 공간전압벡터에 의한 펄스폭변조 방법에 따른 스위칭패턴.
c)도는 삼각파비교방식에 의한 펄스폭변조 방법에 따른 스위칭패턴을 도시한 다이어그램.

제8도는 과변조 방지를 위한 전압비율 변경 방식을 도시한 설명도이다.

[발명의 상세한 설명]

본 발명은 공간전압벡터 방식에 의한 펄스폭변조 방법에 관한 것이다.

최근 전력용 반도체 소자와 고성능 마이크로프로세서의 발달에 따른 전력 전자 기술의 발전에 따라 고도의 정밀도를 요구하는 전동기 제어기술이 필요하게 되었으며, 이에 따라 좀 더 정밀하게 전압을 생성할 수 있는 고정밀도의 펄스폭변조(Pulth Width Modulation, 이하 'PWM' 이라고 함) 기술에 관심이 모아지고 있다. 최근까지 연구되어진 여러 종류의 PWM 기술에 대해서는, Pulsewidth Modulation - A survey (IEEE-PESC Conf. Rec., J. HOLTZ 저, 1992)의 11-18면에 잘 요약되어 있다.

교류전동기를 구동하는 경우에 직류 링크의 전압을 어느 정도까지 선형적으로 사용할 수 있는가 하는 것이 PWM 방법의 성능을 가능하는 중요한 척도라고 할 수 있다. 왜냐하면, 전 운전 영역에서 최대의 토오크를 얻을 수 있으려면 주어진 일정한 직류 링크 전압을 최대한 사용할 수 있어야 하기 때문이다.

이러한 관점에서 볼 때, 공간전압벡터 펄스폭변조법(SVPWM 또는 SVM : Space Voltage Vector Pulth Width Modulation, 이하 SVM이라 함)에 의한 PWM 방식이 직류 전압을 최대한 많이 사용할 수 있다는 점에서 다른 어떤 종류의 PWM 방법보다도 우수하다고 알려져 있다. 또한, 이 방식을 일반적으로 널리 사용되는 삼각파비교 PWM방법에 비해 정상상태에서의 전류 고조파 성분을 크게 억제할 수 있는 것으로 밝혀져 있다. (Analysis and Realization of a Pulse Width Modulation on Voltage Space Vector, H. W Van der Broeck, H. C Skydelny 저, IEEE Trans. on Appl., 1988, vol. 1A-24, no.1, 142-150면 및, Analysis of the Harmonics in Voltage Fed Inverter Devices Caused by PWM Schemes with Discontinuous Switching Operation. H. W, Van der Broeck 저, 1991, EPE Conf. Rec-3, 261-266면에 기술되어 있는 바와 같다.)

그러나, 지금까지 알려진 기존의 SVM은 계산이 오래 걸리고 구현이 복잡하다는 단점으로 인하여 실제 산업계 및 현장 등에서 아직까지 널리 응용되지 못하고 있다. 기존의 SVM에서는 실제 스위칭 시간이 인버터가 출력할 수 있는 8개의 스위칭 상태에 기준을 두고 결정된다. 이러한 접근 방식에 따르면, 실제의 스위칭 패턴을 생성하기 위해서 벡터 공간상에서 기준 전압벡터에 가장 가까운 2개의 유효 스위칭 벡터를 선정하고 각각의 벡터가 인가되는 시간을 한 주기 평균의 개념으로부터 산출해 낸다. 이렇게 산출된 시간은 또다시 실제 스위칭 시간을 생성하기 위해 재합성된다. 즉, 기준전압벡터가 위치한 섹터를 판별하고, 인가할 벡터를 선정하여 인가할 시간을 계산한 후 다시 합성하는 과정을 거친다.

이상과 같은 복잡한 계산과정을 거친 후에야 비로소 실제의 스위치 온/오프 시간이 결정될 수 있기 때문에 상당히 빠른 계산 속도를 지닌 고성능의 마이크로프로세서 및 복잡한 하드웨어를 사용해야만 기존의 SVM을 구현할 수 있다.

이와 같이 SVM이 다른 어떤 종류의 PWM방식에 비해 구현이 어려운 이유는 2차원 벡터공간상에서 기준전압 벡터의 위치에 기준을 두는 접근 방식 때문이다. 외부회로에 인가시킬 전압 지령치에 해당하는 기준 전압벡터가 속해 있는 공간적인 영역에 기준을 두고 계산을 수행하기 때문에 실제 출력되는 3상의 포울(pole)전압과의 관계를 다시 한 번 고려해 주어야 하는 2중 계산의 문제점이 SVM의 가장 큰 단점이라고 할 수 있다.

따라서, 본 발명의 목적은, 유효전압을 인가하는 유효시간의 관점에서 SVM을 재구성함으로써, 기존의 우수한 성능을 그대로 유지시키면서도 간단하게 구현할 수 있는 공간전압벡터 방식에 의한 펄스폭변조 방법을 제공하는 것이다.

상기 목적은, 본 발명에 따라, 공간전압벡터 방식에 의한 펄스폭변조 방법에 있어서, 3상 인버터로부터의 출력전압의 상태를 각 상의 상태에 따라 벡터공간상에 배열한 8개의 전압벡터를 구성하는 단계와; 3상의 입력단을 갖는 외부회로의 각 상에 인가되는 3상의 기준전압을 상기 전압벡터로부터 산출하는 단계와; 상기 외부회로에 인가할 목표가 되는 실제의 기준전압벡터를 합성하기 위해 상기 각 기준상전압이 상기 외부회로의 대응되는 각 상에 인가되어야 하는 각 가상스위칭 시간을 산출하는 단계와; 상기 각 가상스위칭 시간간의 차를, 상기 각 전압벡터를 상기 외부회로에 인가하는 스위칭시간으로 취하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 PWM 구현 방법에 의해서 달성된다.

여기서, 상기 기준상전압은 다음 식에 의해 산출할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} V_{as}^* \\ V_{bs}^* \\ V_{cs}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/2 & -\sqrt{3}/2 \\ -1/2 & +\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_d^* \\ V_q^* \end{bmatrix}$$

여기서, V_{as}^* 는, a상의 기준상전압,

V_{bs}^* 는, b상의 기준상전압,

V_{cs}^* 는, c상의 기준상전압,

V_d^* 는, 기준벡터의 d축 성분,

V_q^* 는, 기준벡터의 q축 성분,

상기 가상스위칭 시간은 다음 식에 의해 산출할 수 있다.

$$T_{as} \equiv T_s \cdot \frac{V_{as}^*}{V_{dc}^*}, \quad T_{bs} \equiv T_s \cdot \frac{V_{bs}^*}{V_{dc}^*}, \quad T_{cs} \equiv T_s \cdot \frac{V_{cs}^*}{V_{dc}^*}$$

$$\text{단, } \begin{cases} V_{as}^* + V_{bs}^* + V_{cs}^* = 0 \\ \therefore T_{as} + T_{bs} + T_{cs} = 0 \end{cases}$$

여기서, T_{as} 는, V_{as}^* 가 a상에 인가되는 가상스위칭 시간,

T_{bs} 는, V_{bs}^* 가 b상에 인가되는 가상스위칭 시간,

T_{cs} 는, V_{cs}^* 가 c상에 인가되는 가상스위칭 시간,

T_s 는, 샘플링타입으로서, 외부회로의 제어주기,

V_{dc} 는, 3상인버터의 직류링크전압이다.

상기 가상스위칭 시간은 가상스위칭 시간간의 차로써, 다음 식으로 구할 수 있다.

$$T_1 = T_{as} - T_{bs}$$

$$T_2 = T_{bs} - T_{cs}$$

$$T_0 = T_s - (T_1 + T_2)$$

여기서, T_1 과 T_2 는 전압벡터 중 크기를 갖는 유효벡터 중에서, 상기 기준전압벡터에 인접한 두 개의 유효 벡터가 인가되는 시간이고, T_0 는 전압벡터 중 크기가 0인 영벡터가 인가되는 시간이다.

또한, 상기 각 가상스위칭 시간에 다음 식과 같이 임의의 지연 시간을 더하여, 상기 각 가상스위칭 시간 이 양의 값을 갖도록 하는 것이 바람직하다.

$$T_{ga} = T_{as} + T_{offset}$$

$$T_{gb} = T_{bs} + T_{offset}$$

$$T_{gc} = T_{cs} + T_{offset}$$

여기서, T_{offset} 은, 각 가상스위칭시간의 값이 양의 값이 되도록 선택된 지연시간,

T_{ga} 는, 3상인버터의 a상의 실제 턴온시간,

T_{gb} 는, 3상인버터의 b상의 실제 턴온시간,

T_{gc} 는, 3상인버터의 c상의 실제 턴온시간이다.

이 때, 상기 지연시간은 상기 스위칭 시간이 상기 샘플링주기의 중간에 위치하도록 선택함으로써 외부회로에 인가되는 전류의 리플을 줄이는 것이 바람직하고, 이를 위해서, 상기 지연시간은 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$T_{offset} = T_{zero} / 2 - T_{min}$$

여기서, T_{zero} 는 영벡터 인가시간이고, T_{min} 은 가상 스위칭시점 T_{as} , T_{bs} , T_{cs} 중에서 가장 작은 값이다.

또한, 스위칭신호가 OFF 상태에서 ON 상태로 되는 경우에는, 상기 가상스위칭 시간은 다음 식에 의해 구

단하게 구할 수 있다.

$$T_{ra}(ON) = T_s - T_{ra}(OFF)$$

$$T_{rb}(ON) = T_s - T_{rb}(OFF)$$

$$T_{rc}(ON) = T_s - T_{rc}(OFF)$$

여기서, 괄호 내의 OFF은 스위칭 신호가 온상태에서 오프상태로 되는 경우에 있어서의 가상스위칭 시간임을 표시하고, 괄호 내의 ON은 스위칭 신호가 오프상태에서 온상태로 되는 경우에 있어서의 가상스위칭 시간임을 표시한다.

또한, 과변조시의 대책으로서, 상기 전압벡터가 합성할 수 있는 크기 중 최대의 값에 해당하는 최대합성 크기와 상기 기준전압벡터의 크기를 비교하는 과변조여부 판별단계와; 상기 기준전압벡터의 크기가 상기 최대합성크기 이상일 경우 상기 기준전압벡터의 크기를 상기 3상 인버터의 최대 출력전압의 크기로 제한하여 출력하는 과변조 방지단계를 더 포함하도록 하여 전압비를 변경 방식에 의해 과변조를 방지할 수 있다.

이에 따라, 상기 과변조여부의 판별은, 상기 샘플링타임(T_s)을 상기 전압벡터 중 크기를 갖는 유효벡터가 인가되는 시간의 합과 비교함으로써 간단하게 이를 수 있다.

이 때, 상기 과변조 방지단계는, 과변조된 상기 기준전압벡터의 각 성분을 균등한 비율로 축소시킴으로써 용이하게 구성할 수 있고, 이에 따라, 축소된 상기 기준전압벡터를 합성하기 위한 상기 전압벡터의 인가 시간을 다음 식에 의해 산출할 수 있다.

$$T_1' = \frac{T_1}{T_1 + T_2} \cdot T_s$$

$$T_2' = \frac{T_2}{T_1 + T_2} \cdot T_s$$

여기서, T_1' 과 T_2' 는, 과변조시, 유효벡터 중에서 상기 기준전압벡터에 인접한 두 개의 유효벡터가 인가되는 시간이다.

이하에서는 도면을 참조하여, SVM을 구성하기 위한 벡터의 구성 및, 이를 이용한 종래의 SVM에 관하여 설명하여 종래 기술의 문제점을 보다 상세한 후, 이를 해결하기 위한 본 발명에서의 SVM에 관하여 상세히 설명한다.

전술한 바와 같이 종래의 SVM에서는 기준전압벡터의 벡터 공간상의 위치에 기준을 두어 스위칭 시간을 결정한다.

제1도는 3상 인버터를 나타낸 회로도이고, 제2도는 3상, 인버터가 나타내는 8가지 스위칭 상태를 개략적으로 나타낸 스위칭 상태도이다. 제1도에 도시된 바와 같이 일반적인 3상 인버터(10)는 모두 6개의 스위칭 소자(1)로 구성되어 있으며, 각 스위칭 소자는 상하의 두 개씩 쌍을 이루어 세 쌍을 구성하고 있다. (좌측의 한 쌍을 a상, 중간의 한 쌍을 b상, 우측의 한 쌍을 c상이라 칭한다. 이하 같다.) 각 쌍의 스위칭 소자는 항상 상호 반대의 스위칭 상태를 유지한다. 예컨대, a상의 스위칭 소자에서 상측 스위칭 소자가 온상태에 있으면, 하측 스위칭 소자는 오프상태에 있다. 따라서 세 쌍의 스위칭 소자의 온/오프 상태의 변화에 따라 구성할 수 있는 스위칭 상태는 제2도의 a)~h)와 같이 8개가 된다. 이러한 각 상태의 상전압을 벡터로 표시하여 V0~V7로 명명한다.

3상 인버터(10)로 부터의 출력치는 외부의 부하측 3상회로(5)(일반적으로 3상교류 전동기, 이하에서는 전동기를 예로 설명한다.)에 인가된다. 각 스위칭 소자의 상태에 따라 전동기(5)에 인가될 수 있는 전압은 V0~V7 중 하나가 된다. 이 때, V0과 V7은 외부의 3상전동기(5)에 입력되는 전압이 모두 한 곳에 집중된 상태에서 '영벡터' 또는 '영전압'이라 칭하고, V1~V6까지의 6개 벡터는, 서로 각기 다른 유효 전압을 전동기에 공급할 수 있는 벡터로서 '유효벡터'라 칭한다. V1부터 V6까지의 유효전압이 차례로 전동기에 인가되면 시간적으로 한 주기 즉, 360° 로 회전하는 전압이 전동기에 인가되는 효과를 얻을 수 있다.

따라서, 이를 벡터라는 관점에서 벡터공간 상에 배치하면 제3도와 같이 60° 의 등간격을 갖는 벡터로서 표시할 수 있다. 각 전압벡터를 나타내는 괄호 안의 세 자리 숫자는 좌측부터 a상, b상, c상의 상태를 나타내는 것으로서 '0'은 각 상의 하측 스위칭 소자가 온된 상태(즉, 상측 스위칭 소자가 오프상태)이고 '1'은 각 상의 상측 스위칭 소자가 오프된 상태(즉, 하측 스위칭 소자가 온상태)를 나타낸다. 영벡터인 V0(000)와 V7(111)은 원점으로 표시된다. 이 때, 전동기(5)의 각 상의 임피던스가 모두 동일하다고 가정하면, 각 유효벡터의 크기는 $\frac{2}{3} V_{dc}$ (여기서, V_{dc} 는 직류링크전압으로서, 3상 인버터에 인가되는 DC전압이다.)로 표시될 수 있다.

이 때 제3도에 도시된 바와 같이, 한 주기 내에서 일정한 크기와 위상을 갖는 기준전압벡터 V^* (전압벡터로부터 합성하고자 하는 목표가 되는 벡터이다. 이하, '기준벡터'라고도 한다.)가 벡터공간 상에서 주어졌다고 가정하자. SVM의 가장 기본적인 원리는 한 주기 내에서 기준전압벡터와 평균적으로 동일한 전압을 인버터의 유효벡터들을 합성함으로써 생성할 수 있다는 것이다. 즉 제3도에서와 같이 기준 벡터가 섹터1(벡터공간상에서 각 유효벡터가 나누고 있는 각 섹터를, 시초선을 중심으로 반시계 방향으로 섹터1부

터 섹터60이라고 한다.)에 주어진 경우 이 전압은 기준벡터와 가장 가까운 벡터인 V1과 V2, 그리고 영벡터의 시간적인 합성으로 한 주기 내에서 생성될 수 있다. 이러한 원리를 바탕으로 전압에 대한 한 주기 내에서의 적분으로부터 각 유효벡터의 인가 시간을 다음 식과 같이 결정할 수 있다.

$$\int_0^{T_s} V^* dt = \int_0^{T_1} V_n dt + \int_{T_1}^{T_1+T_2} V_{n+1} dt + \int_{T_1+T_2}^{T_s} V_0 dt \quad (1-1)$$

$$\therefore T_s \cdot V^* = (T_1 \cdot V_n + T_2 \cdot V_{n+1}) \quad (1-2)$$

여기서, V_n 과 V_{n+1} 은 유효벡터 중 주어진 기준전압 벡터와 가장 가까운 두 벡터이고, T_1 과 T_2 는 V_n 과 V_{n+1} 각각을 인가하는 시간으로서 기준전압벡터를 평행사변형법으로 합성하기 위해 V_n 과 V_{n+1} 에 곱해주어야 하는 수, T_s 는 샘플링타임으로서 외부회로를 제어하는 주기이다.

기준벡터(V^*)가 벡터공간 상에서 섹터1에 주어질 경우, 전압을 벡터의 성분으로 환산하면 다음 식과 같다.

$$T_s \cdot V^* = T_1 \cdot V1 + T_2 \cdot V2 \quad (2-1)$$

$$T_s \cdot |V^*| \cdot \begin{bmatrix} \cos(\alpha) \\ \sin(\alpha) \end{bmatrix} = T_1 \cdot \frac{2}{3} V_{dc} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} + T_2 \cdot \frac{2}{3} V_{dc} \begin{bmatrix} \cos(p/3) \\ \sin(p/3) \end{bmatrix} \quad (2-2)$$

여기서 α 는 기준벡터(V^*)가 V_n 벡터와 이루는 각도로서,

$$0^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$$

이고, p 는 π 값을 갖는 상수이다.

그러므로, 각 유효벡터가 인가되는 시간을 계산하면 다음과 같다.

$$T_1 = T_s \cdot \frac{|V^*|}{\frac{2}{3} V_{dc}} \cdot \frac{\sin(p/3 - \alpha)}{\sin(p/3)} \quad (3-1)$$

$$T_2 = T_s \cdot \frac{|V^*|}{\frac{2}{3} V_{dc}} \cdot \frac{\sin(\alpha)}{\sin(p/3)} \quad (3-2)$$

$$T_0 = T_s - (T_1 + T_2) \quad (3-3)$$

여기서, T_0 는 영벡터 인가시간이다.

이와 같이 하여, 기준벡터(V^*)의 위치에 따라 인가되어지는 유효벡터의 종류와 인가되는 시간들을 직접 계산해 낼 수 있다. 이 때, 주어지는 기준벡터(V^*)가 일반적으로 정좌표계(d축을 수평방향의 축으로, q축을 수직방향의 축으로 하여 설정한 좌표계로서, 직교좌표계의 x축 y축과 유사하나, 주로 회전체에 대한 상대 위치를 나타낼 때 사용하기 위해 회전체를 고정시켰다는 가정하에 축을 설정한 좌표계이다.)상의 값으로 주어지게 되므로 이를 이용하면 조금 더 간단하게 인가되는 시간을 알 수 있다.

즉, 기준벡터(V^*)가 다음과 같이 정좌표계상의 d값과 q값으로 주어지는 경우,

$$\begin{cases} V_d^* = |V^*| \cdot \cos(\beta) \\ V_q^* = |V^*| \cdot \sin(\beta) \end{cases} \quad (4)$$

(여기서, V_d^* 는 기준벡터의 d축 성분, V_q^* 는 기준벡터의 q축 성분, β 는 기준벡터(\vec{V})가 시초선과 이루는 각도이다.)

기준벡터(\vec{V})가 위치하는 섹터의 번호를 m이라고 하면, 식(2-2)에서의 α 를 다음 식과 같이 놓을 수 있고,

$$\alpha = \beta - (m-1) \cdot \frac{P}{3} \quad (5)$$

이를 식(3-1) 내지 식(3-3)에 대입함으로써, 기준벡터(\vec{V}) 위치에 따른 유효벡터의 인가시간을 다음 식과 같이 구할 수 있다. 단, 섹터번호 m이 1인 경우에는 m-1의 값을 6으로 한다.

$$T_1 = \frac{\sqrt{3}}{V_{dc}} \cdot \frac{T_s}{2} \left[+\cos\left(\frac{P}{3} \cdot m\right) \cdot V_d^* + \sin\left(\frac{P}{3} \cdot m\right) \cdot V_q^* \right] \quad (6-1)$$

$$T_2 = \frac{\sqrt{3}}{V_{dc}} \cdot \frac{T_s}{2} \left[-\cos\left(\frac{P}{3} \cdot (m-1)\right) \cdot V_d^* - \sin\left(\frac{P}{3} \cdot (m-1)\right) \cdot V_q^* \right] \quad (6-2)$$

$$T_0 = T_s - (T_1 + T_2) \quad (6-3)$$

물론, 이러한 방법으로 계산된 T_1 , T_2 , T_0 시간이 실제적인 게이팅(gating) 신호가 발생하는 시간을 의미하지는 않는다. 이러한 시간들은 유효벡터 혹은 영벡터가 인가되는 시간을 의미할 뿐이다. 스위칭 소자(1)를 온/오프시키는 실제적인 스위칭 시간은 엄밀한 의미로 시간의 지연을 의미한다. 따라서, 식(6-1) 내지 식(6-3)으로부터 계산된 인가시간들을 적절하게 조합하여 각 스위칭 소자에 대한 실제의 스위칭 시간을 합성하는 작업이 반드시 필요하게 된다.

이 때, 전류의 리플을 최소화시키고 전압 생성의 정밀도를 높이기 위해 일반적으로 반주기 대칭 배열방식이 사용된다. 반주기 대칭 배열방식이란 스위칭 소자가 온되고 오프되는 주기를 한 주기로 보고, 각 스위칭 소자의 온/오프 패턴이 대칭이 되도록 배열하는 것이다. 기준벡터(\vec{V})가 섹터1에 위치한 경우를 예로 들면, V1이 T_1 시간 동안 인가되고, V2가 T_2 시간 동안, 그리고 영벡터가 T_0 시간 동안 인가된다.

이를 하나의 게이팅 신호가 그 상태를 바꿀 때마다 각각의 벡터가 인가되도록 배치를 하면, 제4도와 같은 게이팅 신호의 배치를 얻을 수 있다. 즉, 우선 V0가 인가되고 다음에 V1, V2, V7, V2, V1이 차례로 인가되며, 마지막으로 다시 V0벡터가 인가되도록 스위칭 패턴이 구성되어 진다. 이 때, 제4도에서 볼 수 있듯이, T_0 시간을 반씩 나누어 실제적인 유효벡터가 가해지는 전후로 배치하게 되면, 전류의 리플이 최소화된다는 연구 결과와 전술한 Analysis and Realization of a Pulse Width Modulation on Voltage Space Vector (H. W Van der Broeck, H. C Skudelny 저)에 발표되어 있다.

실제적인 스위칭 시간은, 전술한 바와 같이 특정한 시작점으로부터의 시간 지연에 해당하므로, 유효벡터가 인가하는 시간과 영벡터를 인가하는 시간의 조합으로 구해지는데, 이 때 인버터(10)의 각 스위칭 소자의 상측 소자를 기준으로 하여 이 소자가 온되는 경우와 오프되는 경우에 스위칭 시간의 조합이 틀리게 되는 문제가 생기게 된다. 이를 고려하여 섹터1에서의 실제 게이팅 시간을 구하면 다음 식과 같다. 이 때 기준벡터의 위치에 따라 다른 섹터에서의 실제 스위칭 시간의 조합은 모두 틀리게 된다.

$$\begin{cases} T_{ga} = T_0/2 \\ T_{gb} = T_0/2 + T_1 \\ T_{gc} = T_0/2 + T_1 + T_2 \end{cases} \quad , \quad \begin{cases} T_{ga} = T_0/2 + T_1 + T_2 \\ T_{gb} = T_0/2 + T_2 \\ T_{gc} = T_0/2 \end{cases}$$

(7)

여기서, T_{ga} 는 a상의 실제 턴온시간, T_{gb} 는 b상의 실제 턴온 시간, T_{gc} 는 c상의 실제 턴온시간이다.

이상의 분석으로부터 종래의 SVM에서는 복잡한 여러 단계를 거쳐야 실제의 스위칭 시간이 결정될 수 있다는 것을 알 수 있다. 이러한 복잡한 계산 과정은 다음의 3단계로 종합될 수 있다.

단계 1 : 섹터 선정.

공간 상에서 기준전압벡터가 위치해 있는 섹터를 알아야 한다. 일반적으로 기준벡터의 d축 성분과 q축

성분을 비교하여 섹터를 선정한다. 섹터를 선정함으로써 인가되어질 유효벡터를 알아낼 수 있다.

단계 2 : 유효벡터의 인가시간 계산.

기준벡터의 d축 성분과 q축 성분을 이용하여 식(3-1) 내지 식(3-3)으로부터 유효벡터 및 영벡터가 인가되는 시간을 계산한다. 계산 시간을 줄이기 위해 각 섹터번호에 따른 계수들을 룩업테이블(Look-Up Table)로 처리하기도 한다. 이 때 과변조되어 T_0 시간이 음수로 계산되는 경우에는 다른 특별한 알고리즘으로 보상한다. 이에 대해서는 후술한다.

단계 3 : 실제 스위칭 시간 계산

섹터의 번호를 다시 한 번 이용하여 각 섹터별로 T_1 , T_2 , T_0 를 적절히 조합하여 실제 스위칭 시간을 결정한다. 이 때 계산을 간단히 하기 위해 또 다른 테이블에 사용하기도 한다.

이상의 계산 과정을 다시 한 번 간단히 요약하면, 기존의 SVM을 구현하기 위해서는 외부회로에 인가할 기준벡터의 위치에 따라 유효벡터와 유효시간을 계산하고 다시 이를 기준벡터의 위치에 따라 역으로 환산하여 스위칭 시간을 이끌어 내는 작업을 수행해야 한다. 이렇게 이중으로 복잡한 연산을 해야 되는 이유는 기존의 SVM이 선택한 접근방식 때문이다. 즉, 인버터가 낼 수 있는 유효전압을 시분할로 출력함으로써 기준전압과 같은 전압을 한 주기 평균의 개념에서 생성할 수 있다는 기본 개념 하에 유효전압 벡터를 선정하고, 이에 대한 인가시간을 계산하는 방식이 바로 기존의 SVM의 기본 원리이다. 따라서, 이론적으로 정확한 전압을 인버터에서 출력시키는 것이 가능하지만, 실제 구현 방법은 복잡하다.

이하에서는 이와 같은 제 문제를 해결하기 위한 본 발명에 따른 SVM을 상술한다.

기존의 SVM에서는 전압을 벡터로 취급하여 벡터공간 상에서 해석을 시도해 왔다. 그러나 실제의 3상인버터 시스템에서는 실제의 스위칭 시간이 세 개의 포울(pole) 전압 상태를 결정하기 때문에 시간축 상의 해석이 오히려 계산상의 복잡성을 덜어줄 수 있다. d-q변환 이론으로부터 전동기의 기준상전압, 즉, 각 상전압에 대한 기준 전압을 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{as}^* \\ \dot{V}_{bs}^* \\ \dot{V}_{cs}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ -1/2 & -\sqrt{3}/2 \\ -1/2 & +\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{V}_a^{s*} \\ \dot{V}_b^{s*} \end{bmatrix} \quad (8)$$

여기서, \dot{V}_{as}^* 는, a상의 기준상전압, \dot{V}_{bs}^* 는, b상의 기준상전압, \dot{V}_{cs}^* 는, c상의 기준상전압이다.

기준상전압을 이용하면, 기존의 SVM에서와 같이 섹터를 판별하고 다시 조합하고 하는 번거로움이 없이 SVM의 기본 개념으로부터 직접 스위칭 시간을 구할 수 있다. 이를 위해 유효벡터가 인가되는 시간 T_1 , T_2 와 기준상전압과의 관계를 고찰하도록 한다. 상기한 예와 같이 기준전압벡터(\dot{V}^*)가 섹터1에 위치하는 경우를 고려해 보면, 상기한 식(6-1)과 식(6-2)로부터 다음 식들을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} T_1 &= \frac{\sqrt{3} \cdot T_s}{V_{dc}} \cdot \left[\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \dot{V}_a^{s*} + \frac{1}{2} \cdot \dot{V}_b^{s*} \right] \\ &= \frac{T_s}{V_{dc}} \cdot \left[\dot{V}_a^{s*} + \left(\frac{1}{2} \cdot \dot{V}_a^{s*} + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \dot{V}_b^{s*} \right) \right] \\ &= \frac{T_s}{V_{dc}} \cdot (\dot{V}_a^{s*}) + \frac{T_s}{V_{dc}} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \dot{V}_a^{s*} + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \dot{V}_b^{s*} \right) \\ &= \frac{T_s}{V_{dc}} \cdot \dot{V}_{as} - \frac{T_s}{V_{dc}} \cdot \dot{V}_{bs} \equiv T_{as} - T_{bs} \end{aligned}$$

(9-1)

$$\begin{aligned}
T_2 &= \frac{\sqrt{3} \cdot T_s}{V_{dc}} \cdot [0 \cdot V_a^{s*} + 1V_d^{s*}] \\
&= \frac{T_s}{V_{dc}} \cdot \left[\left(\frac{1}{2} \cdot V_a^{s*} - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot V_d^{s*} \right) - \left(\frac{1}{2} \cdot V_a^{s*} + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot V_d^{s*} \right) \right] \\
&= \frac{T_s}{V_{dc}} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot V_a^{s*} - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot V_d^{s*} \right) - \frac{T_s}{V_{dc}} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot V_a^{s*} + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot V_d^{s*} \right) \\
&= \frac{T_s}{V_{dc}} \cdot V_{bs} - \frac{T_s}{V_{dc}} \cdot V_{cs} \equiv T_{bs} - T_{cs}
\end{aligned}$$

(9-2)

여기서, T_{as} 는 V_{as}^* 가 a상에 인가되는 가상스위칭 시간, T_{bs} 는 V_{bs}^* 가 b상에 인가되는 가상스위칭 시간, T_{cs} 는 V_{cs}^* 가 c상에 인가되는 가상스위칭 시간이다.

따라서, 식(9-1)과 식(9-2)로부터 유효벡터의 인가 시간 T_1 , T_2 는 전동기 각 상전압의 스위칭 상태가 변이하는 사이의 시간 차이를 나타낸다는 것을 알 수 있다.

물론, 나머지 5가지의 다른 섹터에 대해서도 식(9-1) 및 식(9-2)와 유사한 관계식을 쉽게 얻어낼 수 있다. 이 때, 상전압의 상태가 전이하는 시간은 직류초퍼의 개념으로부터 다음과 같이 일정 주기에 대한 직류링크 전압과 기준 상전압의 비로서 정의될 수 있다.

$$T_{as} \equiv T_s \cdot \frac{V_{as}^*}{V_{dc}}, \quad T_{bs} \equiv T_s \cdot \frac{V_{bs}^*}{V_{dc}}, \quad T_{cs} \equiv T_s \cdot \frac{V_{cs}^*}{V_{dc}}$$

(10)

$$\text{단, } \begin{cases} V_{as}^* + V_{bs}^* + V_{cs}^* = 0 \\ \therefore T_{as} + T_{bs} + T_{cs} = 0 \end{cases}$$

이와 같은 분석으로부터 SVM에서의 유효벡터가 인가되는 시간이란 실제로 전동기의 각 상전압의 차이, 다시 말하면 선간 전압이 인가되는 시간을 정의한 것임을 알 수 있다. 한 주기 내에서 각 상전압이 모두 V_{dc} 로부터 0볼트의 전압으로 전이한다고 가정하면, 식(9-1) 및 식(9-2)에서와 같이 기준 전압이 섹터1으로 주어진 경우에 제5도와 같은 전압이 전동기에 인가된다고 볼 수 있다. 즉, T_1 시간 동안에는 a-b선간에, T_2 시간 동안에는 b-c선간에 직류링크 전압이 인가되고, 따라서 $T_1 + T_2$ 시간 동안에는 a-c선간에 직류링크 전압이 계속 인가되는 효과가 발생한다. 결국 기존의 SVM에서 복잡하게 계산되어진 유효시간 T_1 과 T_2 는 전동기 각상의 스위칭 상태가 전이되는 시점들 간의 시간 차이에 불과하다는 것을 알 수 있다. 기존 SVM에서는 이러한 시간 차이들을 각 섹터별로 따로따로 계산한 후에 이 시간들을 실제 스위칭 시간으로 다시 조합하는 연산을 해야 하므로 계산 효율이 매우 떨어지게 된다.

이러한 기존 SVM의 공간벡터라는 관점을 떠나서 각 선간 전압에 영전압이 인가되는 유효시간의 개념에서 SVM을 해석하면, 섹터의 구별을 할 필요 없이 전동기의 각 상에 전압을 인가해 주어야 하는 시간들이 자동적으로 결정됨을 알 수 있다. 즉, (8)식에 의해 벡터로 주어지는 기준전압으로부터 기준상전압 V_{as}^* , V_{bs}^* , V_{cs}^* 를 구하고, 이들로부터 상전압이 인가되는 시간 T_{as} , T_{bs} , T_{cs} 를 식(10)에 의해 계산하게 되면, 이들 상전압이 인가되는 시간들, 사이의 관계에서는 이미 선간 전압에 인가되는 전압의 부호에 대한 정보가 내재되게 된다.

따라서, 벡터공간 상의 기준전압 위치를 파악할 필요도 없고 유효시간들을 섹터에 맞추어 제조할 필요도 없다. 물론 시(10)에 의해 계산된 T_{as} , T_{bs} , T_{cs} 시간들은 각 상전압에 인가되는 전압의 상태가 $0 \rightarrow V_{dc}$, 또는 $V_{dc} \rightarrow 0$ 으로 전이되어야 할 가상적인 시점들로써, 각 시간들 사이의 차이값 만이 물리적인 의미를 갖고 있다. 여기서는 실제 스위칭 시간을 구현하기 위한 중간변수로서 이들을 가상스위칭시간(또는, 가상스위칭 시점)이라고 부르기로 한다.

제5도는 본 발명에 따른 SVM의 스위칭 패턴을 구현하는 개념을 도시한 것으로서, 제5도에서는

기준벡터(\vec{V})가 섹터1에 위치한 경우에 식(10)에 의해 계산된 전동기의 상전압을 생성하는 가상스위칭시간이 도출되어 있다. 한편, 전동기의 중성점 전위가 고정되어 있지 않기 때문에 전동기의 선간 전압만이 유효한 전압이라는 사실로부터 음의 시간값이 존재하는 가상 스위칭시간에 임의의 지연시간을 더해줌으로써 전동기에 인가되는 전압의 변동 없이 인버터에서 모든 스위칭 동작이 완료되도록 제한 조건을 주게 되면, 제5도의 유효시간 부분을 시간적으로 이동시킴으로써 제6도와 같은 전형적인 스위칭 패턴을 구할 수 있다. 제5도에서 T_{max} 와 T_{min} 사이의 전압이 바로 유효시간 부분이며, T_{eff} 로 정의한다.

이 때 유효시간 T_{eff} 를 한 샘플링 주기 내의 임의의 곳으로 이동시킬 수 있는 자유도가 한 가지 존재하지만, 제6도와 같이 T_{eff} 를 중심 부분에 위치시킴으로써 전술한 바와 같이 반주기 대칭 배열에 의해 전류의 리플을 최소화시킬 수 있다. 먼저, 다음의 (11)식과 같이 실제 스위칭시간을 가상 스위칭시간에 특정 편차를 더함으로써 구한다.

$$\begin{aligned} T_{ga} &= T_{as} + T_{offset} \\ T_{gb} &= T_{bs} + T_{offset} \\ T_{gc} &= T_{cs} + T_{offset} \end{aligned} \quad (11)$$

여기서, T_{offset} 은 가상스위칭시간을 양의 값으로 만들기 위한 지연시간, T_{ga} 는 a상의 실제 턴온시간, T_{gb} 는 b상의 실제 턴온시간, T_{gc} 는 c상의 실제 턴온시간이다.

이 때 유효시간이 한 샘플링 주기 중간에 위치해야 한다는 조건으로부터 다음(12)식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} T_{eff} &= T_{max} - T_{min} \\ T_{zero} &= T_s - T_{eff} \\ T_{min} + T_{offset} &= T_{zero} / 2 \\ \therefore T_{offset} &= T_{zero} / 2 - T_{min} \end{aligned} \quad (12)$$

여기서, T_{zero} 는 영벡터가 인가되는 시간이다.

이에 따라, 반주기 대칭 패턴을 나타내는 제6도의 스위칭 패턴이 된다.

이 때, T_{max} 와 T_{min} 은 가상스위칭시점 T_{as} , T_{bs} , T_{cs} 중에서 가장 큰 값과 가장 작은 값을 의미한다. 따라서, 가상스위칭시점들을 시간별로 정리할 필요가 있다. 이를 위해서 가장 간단한 구조의 3요소소팅(sorting) 알고리즘을 사용한다.

한편, 구현하고자 하는 것은 3상대칭 PWM방식이므로, 매 샘플링 주기가 반복될 때마다 스위칭 신호는 온/오프를 교번하게 된다. 지금까지 설명된 것은 실제의 스위칭 신호가 모두 온상태에서 오프상태로 되는 경우에 관한 것이므로, 오프상태에서 온상태로 되는 경우를 따로 고려해야 할 필요가 있다. 그러나, 스위칭 패턴이 두 샘플링 주기마다 대칭이 되며 유효시간을 어떻게 배치하여도 실제 전동기에 인가되는 전압이 변하지 않는다는 점을 이용하면 다음과 같은 간단한 변환식으로 스위칭 신호가 오프에서 온으로 되는 경우의 패턴 생성 문제를 해결할 수 있다.

$$T_{ga}(ON) = T_s - T_{ga}(OFF) \quad (13-1)$$

$$T_{gb}(ON) = T_s - T_{gb}(OFF) \quad (13-2)$$

$$T_{gc}(ON) = T_s - T_{gc}(OFF) \quad (13-2)$$

여기서, 괄호 내의 OFF은 스위칭 신호가 온상태에서 오프상태로 되는 경우에 있어서의 가상스위칭 시간임을 표시하고, 괄호 내의 ON은 스위칭 신호가 오프상태에서 온상태로 되는 경우에 있어서의 가상스위칭 시간임을 표시한다.

즉, 스위치 오프인 경우와 동일하게 스위칭 시간을 계산한 다음, 스위치 온에 해당하는 샘플링 구간에서는 계산되어진 스위칭 시간을 샘플링 시간에서 감산함으로써 실제 스위칭 시간을 간단하게 구할 수 있다.

이하에서는 본 발명에 따른 공간전압벡터 방식에 의한 PWM 구현 방법과 종래의 삼각파 비교방식에 의한 PWM 구현 방법을 비교한다.

제7도에 여러 가지 PWM 방법에 의해 구현된 실제의 스위칭 패턴을 도시한 것으로서, a)도는 본 발명에

따른 SVM에 관한 것이고, b)도는 종래의 SVM에 관한 것이고, c)도는 삼각파 비교방식에 의한 것이다.

본 발명에 따른 SVM은 삼각파 비교방식 PWM과 유사한 점이 많다. 기존의 삼각파 비교방식 PWM은 구현이 용이하여 현 산업계에서 비교적 널리 사용되고 있으나, 선형적으로 제어가 가능한 전압 영역이 변조지수 이상을 넘을 수 없다는 점이 가장 큰 단점으로 지적되고 있다. 이 전압은 6스텝 운전시 기본파 전압의 78%에 불과한 것으로, 전술한 Analysis and Realization of a Pulse Width Modulation on Voltage Space Vector (H. W Van der Broeck, H. C Skudelny 저)에 기술되어 있는 바와 같이 선형제어 영역이 91%에 이르고 있는 종래의 SVM의 경우와 비교해보면 큰 차이가 있다.

즉, 제7도의 a)도와 c)도를 비교해보면, 같은 전압에 대하여 유효전압을 생성하는 효과는 본 발명에서의 SVM이나 삼각파 비교방법에서의 SVM이나 동일하다고 할 수 있다. 그러나, 본 발명에 따른 SVM방법의 경우에는 영전압을 유효전압의 양편으로 분할하여 줌으로써 전류의 리플을 최소화시키는 효과를 얻음과 동시에 전압의 크기가 선형적으로 변동하는 최대의 경우에도 전 샘플링 구간동안 영벡터 없이 유효벡터만을 인가할 수 있는 능력을 지니고 있다.

한편, 삼각파 비교방식에서는 제7도의 c)도에서와 같이 기준상전압과 직류링크 전압의 반을 최고치로 하는 삼각파와의 비교로부터 스위칭시간이 결정된다. 이는 영전압이 항상 비대칭으로 유효전압 전후에 배치된다는 것을 의미하며, 선형제어 영역에서는 기준상전압의 최고치가 $\frac{1}{2} V_{dc}$ 로 제한된다는 것을 의미한다.

한가지 단적인 일례로서 전동기에 선형적으로 인가할 수 있는 최대의 전압을 생각해 보기로 한다. 세 개의 상전압의 합이 항상 0을 유지해야 한다는 조건하에서 a상의 전압이 최대가 되는 경우를 고려하면, 기존의 삼각파 비교방식에서는 a상의 전압이 $\frac{1}{2} V_{dc}$, b상전압 및 c상전압이 각각 $-\frac{1}{2} V_{dc}$ 의 경우가 최대의 경우이다. 이보다 큰 전압이 인가되면 과변조가 되기 때문에 선형성을 보장할 수 없게 된다.

반면, 본 발명에 따른 SVM에서는 유효전압이 인가되는 시간을 재배치하는 기법을 사용하기 때문에, a상 전압이 $\frac{2}{3} V_{dc}$, b상전압 및 c상전압이 각각 $-\frac{1}{3} V_{dc}$ 까지 선형적으로 인가될 수 있다. 이러한 전압을 식(10)에 역으로 대입해 보면 한 샘플링 주기 전 구간에 걸쳐 유효전압이 인가되는 것을 쉽게 확인할 수 있다.

이하에서는 후술하기로 한 과변조시의 대책에 대해 상설한다.

인버터의 전압제어 응용분야 혹은 서보용 전동기의 전류제어 등에서 인버터가 생성할 수 없는 크기의 과대한 전압지령치가 기준전압으로 입력되는 경우가 있다. 제8도에서와 같이 벡터공간 상의 6각형 내부의 영역에 기준전압이 위치한 경우에는 유효전압과 영전압의 조합으로 기준전압에 상응하는 전압이 생성될 수 있으나, 6각형 외부에 위치한 경우에는 어떠한 벡터의 조합으로도 전압을 생성할 수 없다. 이러한 경우에는 인버터에서 생성할 수 있는 전압 중에서 기준전압에 가장 근사한 전압을 발생시키는 수밖에 없는 데 이러한 경우를 과변조라고 한다.

이러한 과변조는 주로 교류전동기 제어시 과도상태에서 빈번하게 발생하고, 특히 전동기의 역기전력이 매우 큰 약계자 영역(주로 고속운전 영역)에서 많이 발생한다. 따라서, 과변조 방식에 따라 과도상태의 운전특성이나 고속운전 특성 등이 큰 차이를 보일 수 있다. 이러한 이유로 여러 가지 방식의 과변조 방법이 이미 널리 연구되어지고 있는데, 비교적 간단하게 구현할 수 있는 전압비율 변경방식을 본 발명에 따른 SVM에 적용한다.

과변조시 주로 사용되는 전압비율 변경방식이란 기준 벡터의 위상은 그대로 두고 크기만 인버터의 최대 출력전압 크기로 제한하는 방식이다. 제8도에는 인버터의 최대 출력전압의 크기를 표시하는 6각형 중에서 벡터1을 중심으로 한 일부분이 도시되어 있다. 만일 기준전압이 c점으로 주어지는 경우는 6각형의 외부에 위치하므로 정상적인 인버터의 동작으로는 기준전압에 상응하는 전압을 생성할 수 없다. 이 경우에도 기준전압의 위상을 그대로 유지하면서 인버터의 최대 출력에 해당하는 6각형의 선상에 있는 d점으로 기준전압을 다시 재구성하는 방식이 바로 전압비율 변경방식이다. 이 방식을 사용하는 경우의 처리 과정은 다음과 같다.

먼저, 과변조인가 아닌가를 판단하는 작업이 수행되어야 한다. 검사 방법은 유효시간, 즉 T_1 과 T_2 를 더한 시간 T_{eff} 크기와 샘플링시간 T_s 의 크기를 비교함으로써 간단하게 이루어진다. 벡터공간 상에서 육각형의 윤곽선이 의미하는 바는 전 샘플링 주기 동안 영벡터 없이 최대의 유효전압을 인가한다는 것이므로, T_{eff} 의 크기가 T_s 보다 작다는 것은 영벡터를 인가하는 시간이 있다는 것이고 이는 곧 기준 벡터가 육각형의 내부에 존재한다는 것이다. 따라서, T_{eff} 가 T_s 보다 크면 과변조임을 의미한다.

과변조임이 판명된 후에는 기준전압의 크기를 육각형의 경계선으로 축소하는 작업을 수행한다. 이 작업은 제8도에 도시되어 있는 바와 같이 벡터의 각 성분을 같은 비율로 축소시키으로써 간단하게 수행될 수 있다. 즉, 다음과 같은 조건하에서,

$$T_1' + T_2' = T_s \quad (14-1)$$

$$T_1 : T_2 = T_1' : T_2' \quad (14-2)$$

이때, 새롭게 갱신되는 유효시간들을 계산하면 다음과 같다.

$$T_1' = \frac{T_1}{T_1 + T_2} \cdot T_s \quad (15-1)$$

$$T_2' = \frac{T_2}{T_1 + T_2} \cdot T_s \quad (15-2)$$

여기서, T_1' 과 T_2' 는, 과변조시, 유효벡터 중에서 상기 기준전압벡터에 인접한 두 개의 유효벡터가 인가 되는 시간이다.

이상과 같이 과변조시의 대책은 본 발명에 따른 SVM에서 간단하게 구현되어질 수 있다.

이하에서는 본 발명에 따른 SVM의 실제 구현 및 실험 결과를 설명한다.

일반적인 인버터의 정상적인 스위칭 동작을 수행시키려면 데드타임(dead time)을 고려하여 정확히 원하는 시간에 전력용 반도체 소자의 게이팅 신호를 발생시켜 줄 수 있는 하드웨어의 구비가 필수적이다. 따라서, 일반적인 인버터 시스템의 제어기는 전반적인 제어 및 필요로 하는 계산을 전담하는 CPU 부분과 타이머 등의 소자를 이용하여 게이팅 신호를 발생시키는 주변회로로 구성되어 있다. 어디까지를 계산으로 수행하고 어디까지를 주변회로로 이용한 하드웨어에 부담시킬 것인가는 명확히 구분되어 있지 않지만 CPU의 능력이 허용하는 범위 내에서 가능하면 CPU를 최대한 활용하려는 것이 최근 추세이다.

본 발명에서는 부동소수점 연산이 가능한 TMS320C31 DSP를 사용한 제어기를 사용하였다. 이 제어기는 인버터 제어 전용으로 자체 개발된 것으로서, 게이팅 신호를 발생시키기 위한 타이머 회로가 EPLD(Erasable Programmable Logic Device)에 구현되어 있다.

기존의 SVM을 구현하는 방법에서는 스위칭 시간을 계산한 다음 이를 EPLD에 입력하여 게이팅 신호를 발생시키는 방식을 사용하였다. 본 발명에서도 이와 같은 방식을 사용하면서 계산방식만은 본 발명에 따른 SVM으로 대체하였다. 종래의 SVM과의 공정한 비교를 위하여, DSP 어셈블리 언어로 최소의 수행 시간을 갖도록 작성된 종래의 SVM방식과 본 발명에 따른 SVM방식을 동일 조건하에서 수행시켜 보았다.

종래의 SVM의 경우 총 58스테이트(state)의 수행 시간이 소요되었으며 수행 시간의 최소화를 위해 32비트의 길이를 갖는 250개의 테이블이 필요하였다. 반면, 본 발명의 SVM을 사용하면 테이블이 전혀 필요 없이 40스테이트의 시간만에 SVM이 수행될 수 있었다. (DSP에서의 1스테이트는 60nsec를 의미하며, 모든 명령이 한 스테이트만에 수행된다.) 따라서, DSP를 사용하는 경우, 테이블을 사용하지 않음으로 인한 메모리 절약 효과와 수행 속도가 35% 정도 향상되는 효과를 얻을 수 있다. 실제적인 현장 적용의 개념에서는 추가적인 메모리가 필요 없다는 점이 큰 의미를 가질 수 있다. 한편, 일반적인 범용의 CPU를 사용하는 경우에는 DSP의 경우와 달리 실행속도에 큰 차이가 발생하기 때문에 본 발명의 SVM 구현 방법이 더욱 큰 장점을 지니게 된다.

상기한 바와 같이, 본 발명에 따른 공간전압벡터 방식에 의한 PWM 구현 방법에 의하면, 유효시간의 개념을 이용하면 기준전압의 상전압 표현식으로부터 간단하게 공간전압벡터 PWM을 구현할 수 있다. 따라서, 기존의 SVM에서와 같이 기준전압벡터가 위치한 섹터를 판별할 필요도 없고 인가 벡터를 선장할 필요도 없으며, 유효시간을 계산하고 다시 합성할 필요도 없다. 단지 3개의 요소를 갖는 단순한 소팅 알고리즘을 이용하여 계산된 가상시점을 시간적으로 이동시킴으로써 SVM을 구현할 수 있다. 따라서 종래의 SVM 구현 방식에 비해 계산시간을 크게 줄일 수 있고 연산 구조가 매우 간단하므로, 저가의 제어기에서도 손쉽게 구현이 가능하다.

(57) 청구의 범위

청구항 1

공간전압벡터 방식에 의한 펄스폭변조 방법에 있어서, 3상 인버터로부터의 출력전압의 상태를 각 상의 상태에 따라 벡터공간상에 배열한 8개의 전압벡터를 구성하는 단계와; 3상의 입력단을 갖는 외부회로의 각 상에 인가되는 3상의 기준상전압을 상기 전압벡터로부터 산출하는 단계와; 상기 외부회로에 인가할 목표가 되는 실제의 기준전압벡터를 합성하기 위해 상기 각 기준상전압이 상기 외부회로의 대응되는 각 상에 인가되어야 하는 각 가상스위칭 시간을 산출하는 단계와; 상기 각 가상스위칭 시간간의 차를, 상기 각 전압벡터를 상기 외부회로에 인가하는 스위칭시간으로 취하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 펄스폭변조 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 기준상전압을 다음 식에 의해 산출하는 것을 특징으로 하는 펄스폭변조 방법:

$$\begin{bmatrix} V_{as}^* \\ V_{bs}^* \\ V_{cs}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/2 & -\sqrt{3}/2 \\ -1/2 & +\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_a^* \\ V_b^* \end{bmatrix}$$

(여기서, V_{as}^* 는, a상의 기준상전압, V_{bs}^* 는, b상의 기준상전압, V_{cs}^* 는, c상의 기준상전압, V_a^* 는, 기준

터의 d축 성분, V_d^* 는, 기준벡터의 q축 성분이다.)

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 가상스위칭 시간은, 다음 식에 의해 산출하는 것을 특징으로 하는 펄스폭변조 방법:

$$T_{as} \equiv T_s \cdot \frac{V_{as}^*}{V_{dc}^*}, \quad T_{bs} \equiv T_s \cdot \frac{V_{bs}^*}{V_{dc}^*}, \quad T_{cs} \equiv T_s \cdot \frac{V_{cs}^*}{V_{dc}^*}$$

$$\text{단, } \begin{cases} V_{as}^* + V_{bs}^* + V_{cs}^* = 0 \\ \therefore T_{as} + T_{bs} + T_{cs} = 0 \end{cases}$$

(여기서, T_{as} 는, V_{as}^* 가 a상에 인가되는 가상스위칭 시간, T_{bs} 는, V_{bs}^* 가 b상에 인가되는 가상스위칭 시간, T_{cs} 는, V_{cs}^* 가 c상에 인가되는 가상스위칭 시간, T_s 는, 샘플링타입으로서, 상기 외부회로의 제어하는 주기, V_{dc} 는, 상기 3상인버터의 직류링크전압이다.)

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 가상스위칭 시간은, 다음 식으로 구하는 것을 특징으로 하는 펄스폭변조 방법:

$$T_1 = T_{as} - T_{bs}$$

$$T_2 = T_{bs} - T_{cs}$$

$$T_0 = T_s - (T_1 + T_2)$$

(여기서, T_1 과 T_2 는, 전압벡터 중 크기를 갖는 유효벡터 중에서, 상기 기준전압벡터에 인접한 두 개의 유효벡터가 인가되는 시간, T_0 는, 전압벡터 중 크기가 0인 영벡터가 인가되는 시간이다.)

청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 각 가상스위칭시간이 양의 값을 갖도록 상기 각 가상스위칭시간에 다음 식과 같이 임의의 지연시간을 더하여 상기 스위칭시간을 구하는 것을 특징으로 하는 펄스폭변조 방법:

$$T_{ga} = T_{as} + T_{offset}$$

$$T_{gb} = T_{bs} + T_{offset}$$

$$T_{gc} = T_{cs} + T_{offset}$$

(여기서, T_{offset} 은, 각 가상스위칭시간의 값이 양의 값이 되도록 선택된 지연시간, T_{ga} 는, 3상인버터의 a상의 실제 턴온시간, T_{gb} 는, 3상인버터의 b상의 실제 턴온시간, T_{gc} 는, 3상인버터의 c상의 실제 턴온시간이다.)

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 지연시간은 상기 스위칭시간이 상기 샘플링 주기의 중간에 위치하도록 선택하는 것을 특징으로 하는 펄스폭변조 방법.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 지연시간은 다음 식에 의해 구하는 것을 특징으로 하는 펄스폭변조 방법:

$$T_{offset} = T_{zero} / 2 - T_{min}$$

여기서, T_{zero} 는 영벡터 인가시간이고, T_{min} 은 가상 스위칭시점 T_{as} , T_{bs} , T_{cs} 중에서 가장 작은 값이다.

청구항 8

제6항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서, 스위칭신호가 오프상태에서 온상태로 되는 경우에는 상기 가

상스위칭시간은 다음 식에 의해 구하는 것을 특징으로 하는 펄스폭변조 방법:

$$T_{ra}(ON) = T_s - T_{ra}(OFF)$$

$$T_{rb}(ON) = T_s - T_{rb}(OFF)$$

$$T_{rc}(ON) = T_s - T_{rc}(OFF)$$

(여기서, 괄호 내의 OFF는 스위칭 신호가 온상태에서 오프상태를 되는 경우에 있어서의 가상스위칭시간임을 표시하고, 괄호 내의 ON는 스위칭 신호가 오프상태에서 온상태로 되는 경우에 있어서의 가상스위칭시간임을 표시한다.)

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 전압벡터가 합성할 수 있는 크기 중 최대의 값에 해당하는 최대합성크기와 상기 기준전압벡터의 크기를 비교하는 과변조 여부 판별 단계와; 상기 기준전압벡터의 크기가 상기 최대합성 크기 이상일 경우 상기 기준전압벡터의 크기를 상기 3상인버터의 최대 출력전압의 크기로 제한하여 출력하는 과변조 방지단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 펄스폭변조 방법.

청구항 10

제9항에 있어서, 상기 과변조 여부 판별단계는, 상기 샘플링타임(T_s)을 상기 전압벡터 중 크기를 갖는 유효벡터가 인가되는 시간의 합과 비교하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 펄스폭변조 방법.

청구항 11

제9항 또는 제10항에 있어서, 상기 과변조 방지단계는, 과변조된 상기 기준전압벡터의 각 성분을 균등한 비율로 축소시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 펄스폭변조 방법.

청구항 12

제11항에 있어서, 축소된 상기 기준전압벡터를 합성하기 위한 상기 전압벡터의 인가 시간을 다음 식에 의해 산출하는 것을 특징으로 하는 펄스폭변조 방법:

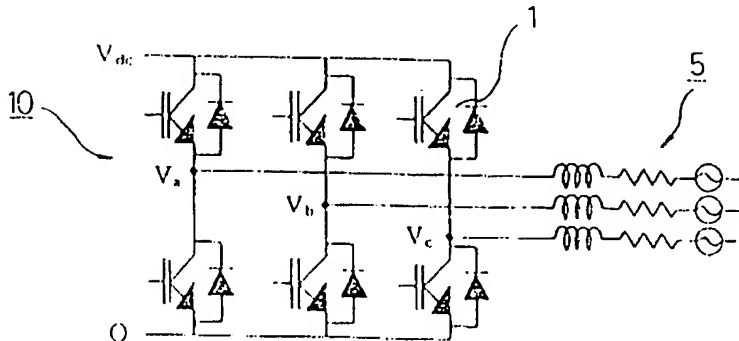
$$T_1' = \frac{T_1}{T_1 + T_2} \cdot T_s$$

$$T_2' = \frac{T_2}{T_1 + T_2} \cdot T_s$$

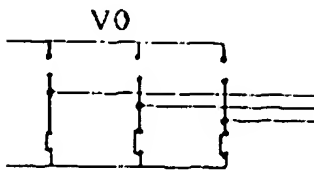
(여기서, T_1' 과 T_2' 는, 과변조시, 유효벡터 중에서 상기 기준 전압벡터에 인접한 두 개의 유효벡터가 인가되는 시간이다.)

도면

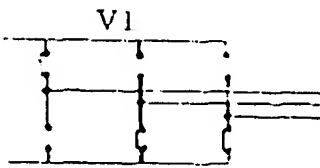
도면1



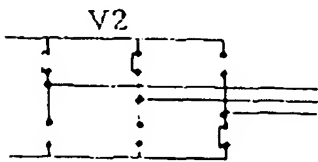
도면2a



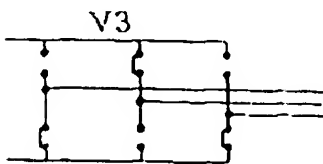
도면2b



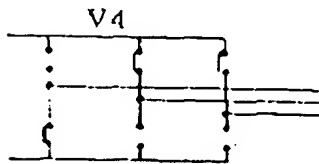
도면2c



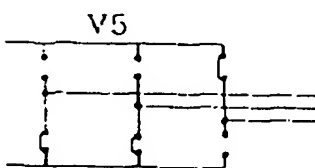
도면2d



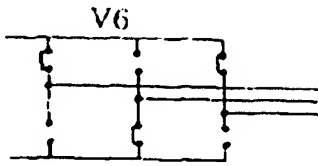
도면2e



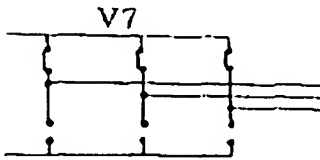
도면2f



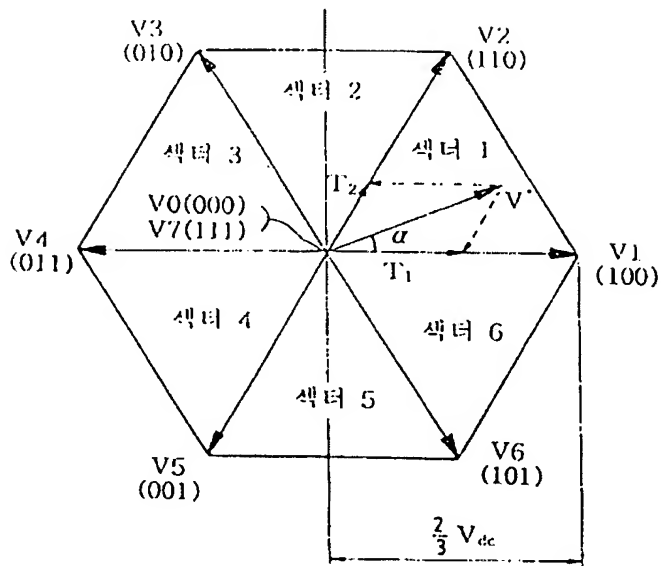
도면2g



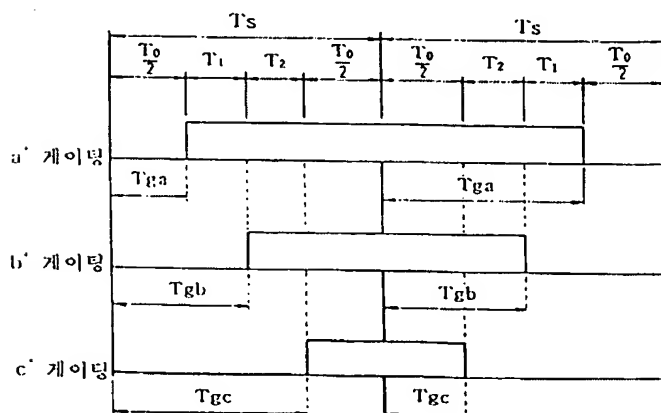
도면2h



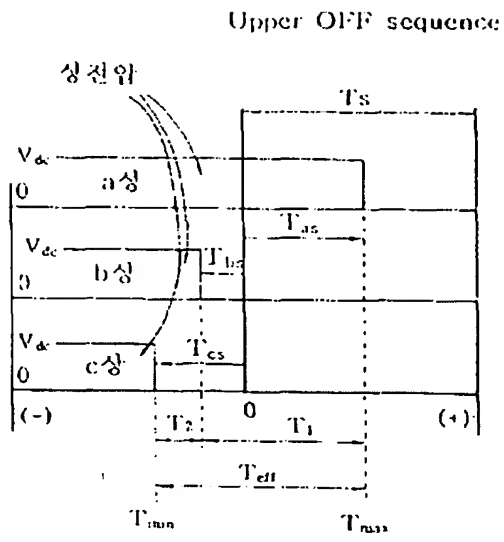
도면3



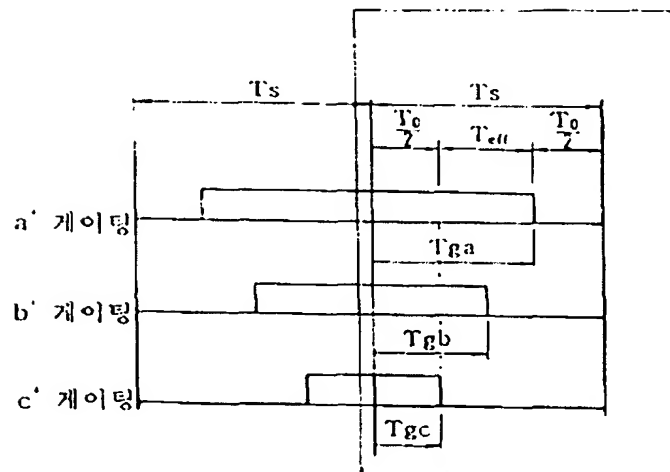
도면4



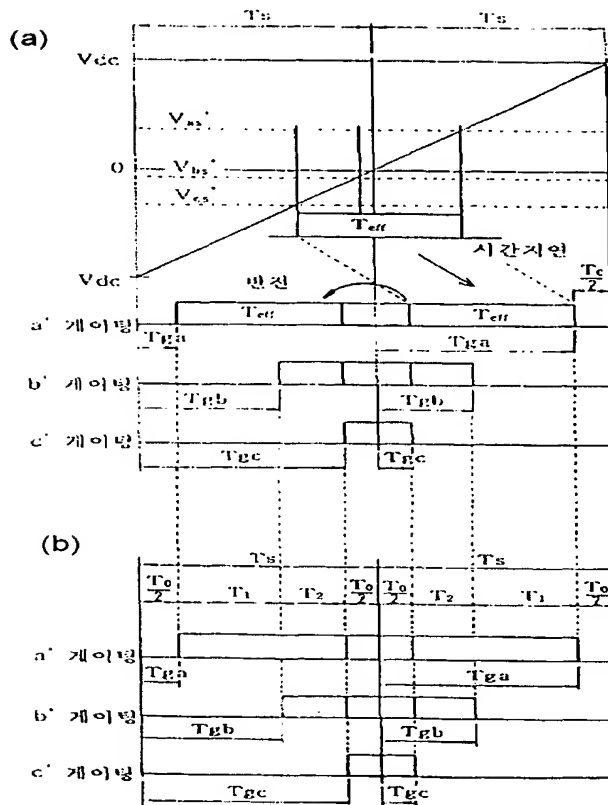
도면5



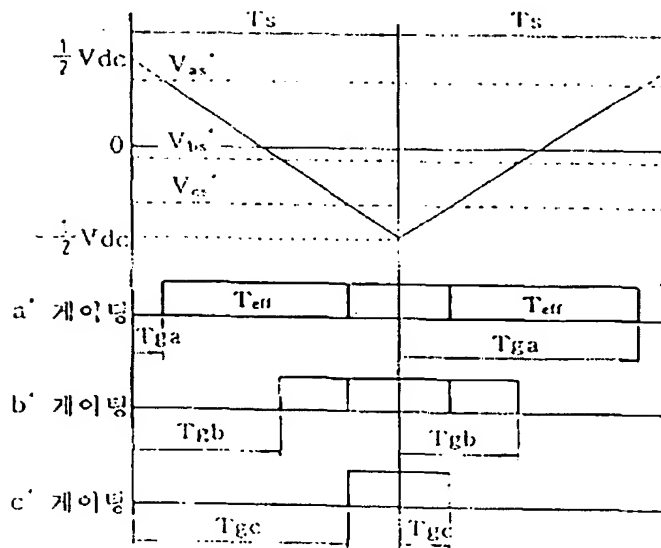
도면6



도면7



도면7c



도면8

